

Makalah Teknis**Penentuan Kadar Emas (Au) Dan Perak (Ag) Metoda Fire Assay: Perbandingan Hasil Analisis Peleburan Tungku Gas Terhadap Tungku Solar****ACHDIA SUPRIADIDJAJA^a**^a UPT Loka Uji Teknik Penambangan Jampang Kulon-LIPI, Sukabumi

ABSTRAK Metoda penentuan kadar emas dan perak secara fire assay, dikerjakan dalam kaitanya dengan pengujian dua buah tungku peleburan. Kedua buah tungku tersebut masing-masing menggunakan bahan bakar gas dan bahan bakar solar. Tujuannya, untuk membandingkan hasil analisis yang diperoleh. Sebanyak 5.400 gram sampel mengandung emas berukuran butir 150 mesh, dibagi menjadi dua dan masing-masing ditimbang 50 gram sebanyak 28 sampel. Sebanyak 28 sampel bagian dilebur dan dikupelasi pada tungku gas, kemudian 28 sampel bagian dilebur dan dikupelasi pada tungku solar sebagai kalibrasi. Hasil analisis menunjukkan, peleburan dan kupelasi pada tungku gas mencapai kadar emas rata-rata sebesar 57,88 gr/ton dan perak rata-rata sebesar 4,76 gr/ton. Sementara itu, peleburan dan kupelasi pada tungku solar mencapai kadar emas rata-rata sebesar 59,62 gr/ton dan perak rata-rata sebesar 8,77 gr/ton. Selisih rata-rata kadar emas sebesar 1,74 gr/ton dan perak sebesar 4,20 gr/ton.

Kata Kunci: Emas, perak, kadar, *fire assay*, tungku gas, tungku solar

ABSTRACT The method for determining gold and silver grade, was carried out by fire assay relating with the testing of two smelting furnaces. These furnace use gas and oil fuel, respectively. The objective of this research is to compare the analyse results. The 5.400 grams of samples contain of gold which have a particle size of 150 mesh and they were divided by two parts. Each of the part was weighed by 50 gram as much as 28 sample. Each of 28 samples was smelted and oxidized in gas and oil furnace, respectively. The result of analysis indicated that smelting and cupellation on gas furnace reach average gold assay of 57.88 grams perton and silver of 4.76 grams perton. While smelting and cupelation on oil furnace reach average gold assay of 59.62 grams perton and silver of 8.77 grams perton. The difference gold and silver are 1.74 grams perton and 4.20 grams perton, respectively.

Keywords: Gold, silver, grade, fire assay, gas fuel, oil fuel

PENDAHULUAN

Metoda analisis secara *fire assay* merupakan salah satu cara gravimetri yang melibatkan proses peleburan (*smelting*), dan cara ini hanya dikenal untuk menentukan kandungan logam mulia seperti emas dan perak (Haffty, 1977). Dalam menentukan kandungan emas dan perak dalam bijih dengan metoda *fire assay* memerlukan sample lebih banyak dan membutuhkan waktu lebih lama dibanding metoda Spektrometri Serapan Atom (SSA), sehingga ekstraksi logam emas dan perak metoda *fire assay* akan mendekati sempurna (Eric, 1984). Walaupun secara teoritis metoda *fire assay* memiliki ketepatan dan ketelitian relatif lebih tinggi dibanding metoda Spektrometri Serapan Atom (SSA),

namun karena berbagai faktor yang mempengaruhi dalam pelaksanaannya sehingga masih sering terjadi penyimpangan hasil analisis. Oleh karena itu, dalam menentukan kadar emas dan perak dalam bijih perlu dilakukan analisis secara berulang kali sebagai kalibrasi, sehingga akan membantu dalam memperoleh gambaran ketelitian dan ketepatan tentang kadar emas (Au) dan perak (Ag) dalam sampel bijih. Walaupun perbedaan ketelitian dan ketepatan belum diketahui secara pasti, tetapi berat sampel 50 gram yang dianalisis dengan *fire assay* akan lebih memungkinkan memberikan hasil yang mendekati kepada kandungan emas rata-rata, bila dibanding berat sampel hanya $\pm 1,0$ gram yang dianalisis dengan menggunakan Spektrometri Serapan Atom (SSA). Meskipun demikian, kini sudah menjadi kesepakatan bersama bahwa hasil analisis emas dan perak dengan metoda *fire assay* (gravimetri) mempunyai ketepatan hasil dibanding dengan metoda Spektrometri Serapan Atom (SSA), sehingga metoda *fire assay* (gravimetri) dipilih menjadi metoda acuan yang sudah baku untuk keseragaman cara analisis emas (Au) dan perak (Ag) meskipun membutuhkan waktu yang relatif lebih lama (Davidowski, 1983).

Logam emas murni berwarna kuning, tetapi jika membentuk paduan dengan perak atau logam lain, warna emas berubah menjadi kuning pucat sampai putih elektrik. Perubahan warna tersebut mencerminkan kandungan emas identik dengan angka berat jenis yang berkisar antara 15,3 – 19,3. Sementara itu, keberadaan emas dalam bijih primer umumnya berasosiasi dengan beberapa mineral sulfida, seperti pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2), kalkosit (Cu_2S), sfalerit (ZnS), galena (PbS), dan oksida seperti kasiterit (SnO_2), kuarsa (SiO_2), hematit (Fe_2O_3), rutil (TiO_2), dsb. Berbeda dengan bijih primer, dimana endapan emas letakan yang umumnya cenderung berwarna putih *siliceous* karena mengandung sedikit sulfida dan oksida. Demikian halnya dengan hasil pendulangan endapan emas letakan, biasanya akan menghasilkan konsentrat berwarna hitam yang disebabkan masih bercampur dengan mineral-mineral lain pembentuk pasir besi dan biasanya terdiri dari ilmenit (FeTiO_3), hematit (Fe_2O_3), rutil (TiO_2) atau sedikit mengandung mineral sulfida dan kuarsa (SiO_2).

Kenyataan di alam menunjukkan bahwa distribusi logam emas (Au) dalam bijih tidak merata dan jarang sekali dijumpai setiap ton bijih yang mengandung logam emas lebih dari 31,1 gr emas murni, mengingat bahwa emas (Au) merupakan komponen logam paling kecil dalam bijih dibanding unsur lainnya (Smith, 1947; Haque, 1992). Meskipun saat ini sudah diketemukan beberapa metoda analisis emas dan perak seperti Spektrometri Serapan Atom (SSA) dan metoda *fire assay*, namun demikian masih sering terjadi penyimpangan data atau ketidakakuratan hasil analisis. Berbagai faktor yang dapat menimbulkan ketidakakuratan hasil analisis, diantaranya adalah faktor perlakuan dalam penyiapan bahan, faktor peralatan yang digunakan, disamping faktor orang yang mengerjakannya.

Dalam kasus menganalisis kadar emas dan perak secara *fire assay* dihadapkan pada masalah bagaimana perbedaan hasil analisis antara peleburan memakai tungku gas yang biasa digunakan di lapangan dan tungku solar yang biasa digunakan di laboratorium ?. Pada umumnya tidak pernah terpikirkan oleh para analis (peneliti) tentang bagaimana perbedaan dari hasil peleburan antara kedua alat tersebut ? Oleh karena itu, kajian dalam tulisan ini mengetengahkan tentang bagaimana menentukan kadar emas dan perak dalam bijih dengan metoda *fire assay* dan akan membandingkan hasil analisis dari serangkaian percobaan peleburan dengan menggunakan dua (2) jenis tungku. Peleburan dilakukan terhadap 28 sampel pada tungku gas yang berpasangan dengan peleburan 28 sampel lain pada tungku solar. Berat masing-masing sampel sama (50 gram), demikian pula mengenai bahan aditif dan prosedur diperlakukan sama sebagai kondisi tetap. Hasil analisis diolah secara statistik sederhana, sehingga metoda *fire assay* ini diharapkan dapat memberikan gambaran bagi peneliti tentang bagaimana perbedaan antara hasil analisis dengan menggunakan tungku gas terhadap tungku solar.

METODE

Percobaan analisa dilakukan dengan menggunakan metoda *fire assay* yang melibatkan proses peleburan dalam menentukan kadar emas dan perak dalam bijih. Proses peleburan ditentukan sebagai variabel, dilakukan dengan menggunakan dua (2) jenis tungku, yaitu tungku gas dan tungku solar. Sedangkan berat masing-masing sampel, jenis bahan aditif yang ditambahkan dan perlakuan peleburan dijadikan sebagai kondisi tetap.

Bijih emas letakan biasanya mengandung sedikit sulfida atau oksida, sehingga cenderung tidak memiliki sifat mereduksi atau sedikit bersifat mengoksidasi dalam peleburan (Haffty, 1977). Bahan aditif berupa bahan kimia yang digunakan dalam analisis dan memiliki fungsi seperti diperlihatkan pada Tabel 1. Borak atau borax glass ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), merupakan bahan imbuhan (flux) bersifat asam yang berfungsi sebagai pelarut beberapa logam oksida untuk dirubah menjadi terak. Sedangkan, soda abu (Na_2CO_3) merupakan bahan imbuhan bersifat basa berfungsi sebagai *desulfurizer* yang akan cepat mencair bersama-sama mineral yang mengandung silika dan akan membentuk cairan sodium silikat (Na_2SiO_3) yang kemudian berubah wujud menjadi terak. Sementara itu, meni timbal (Pb_3O_4) yang merupakan bahan imbuhan bersifat basa akan bertindak sebagai oksidator. Dalam *fire assay*, meni timbal akan terurai menjadi *litharge* (PbO) atau logam timah hitam (Pb), kemudian akan mengikat logam berharga (emas dan perak) dan logam-logam lain dalam bentuk *button*. Kemudian serbuk arang kayu, dengan kandungan karbon sekitar 93 % merupakan bahan yang akan berfungsi sebagai pereduksi meni timbal, dan akan berubah menjadi timah hitam (Pb).

Sedangkan peralatan yang digunakan dalam percobaan ini seperti disajikan pada Tabel 2, melibatkan berbagai jenis peralatan yang umum dipakai dalam *fire assay*. Tungku peleburan dan kupelasi berbahan bakar gas (tungku gas) dan tungku peleburan berbahan bakar solar (tungku solar) terbuat dari bahan tahan api (*refractory*) dan dibagian luar dilapisi pelat baja. Kedua jenis tungku tidak dilengkapi dengan alat pengontrol temperatur, tetapi hasil peleburan dapat dikontrol dengan cara mengatur keseimbangan bahan bakar dan udara yang keluar dari *burner*, sedangkan untuk mengontrol umpan yang sudah melebur sempurna dilakukan dengan membuka tutup ruang peleburan untuk melihat leburan secara langsung. Tungku dengan bahan bakar gas berbentuk silinder, digunakan untuk peleburan dan kupelasi, sehingga bisa dipakai untuk analisis emas dan perak baik di lapangan maupun di laboratorium. Lain halnya dengan tungku solar, untuk peleburan dan kupelasi berbeda dengan tungku gas. Oleh karena itu, tungku solar untuk peleburan berbentuk silinder yang lebih dikenal dengan sebutan *pot furnace*, sedangkan tungku untuk kupelasi berbentuk persegi-empat yang biasanya ditempatkan didalam tungku solar dan dikenal dengan sebutan *muffle furnace*.

Sementara itu, krusibel berbentuk seperti silinder agak tirus kebawah terbuat dari bahan tahan api dan tahan korosi kimia pada temperatur peleburan (1100°C). Sedangkan, kupel berbentuk silinder agak tirus kebawah yang terbuat dari campuran semen dan *bone ash* digunakan untuk menempatkan *button* ketika dilakukan *kupelasi*. Sementara alat yang lain, yaitu tang penjepit terbuat dari baja berukuran panjang 100 cm, digunakan untuk memasukan krusibel atau kupel kedalam tungku, dan mengeluarkan krusibel dari tungku untuk menuangkan isi leburan ke dalam cetakan baja (*mold button*). Mold button atau dikenal dengan nama cetakan baja, terutama untuk mencetak dan mendinginkan hasil peleburan sehingga terak terpisah dari kumpulan logam (*button*). *Vincet*, merupakan alat pencapit berukuran panjang 15 cm yang digunakan untuk mengambil (mencapit) material yang kecil, salah satunya adalah *bullion*. Dalam analisis emas secara *fire assay*, *vincet* digunakan untuk mengambil atau memindahkan *bullion* dari kupel, selanjutnya dilakukan penimbangan. Sedangkan yang dimaksud timbangan analitis adalah timbangan yang digunakan untuk menimbang hasil kupelasi, yaitu berupa *bullion* dan serbuk emas hasil *parting*. Kemudian untuk membakar serbuk emas yang berwarna hitam dan berubah menjadi warna kuning emas, digunakan cawan porselen. Karena *bullion* berukuran sangat kecil, maka timbangan yang digunakan harus memiliki ketelitian pada kisaran antara 0,005 dan 0,01 mg (Haffty, 1977).

Tabel 1. Komposisi umpan tiap analisis *fire assay*

No	Umpan	Berat (gr)	Fungsi dalam <i>fire assay</i>
1	Contoh batuan	50,0	Sumber emas dan perak
2	Borak glass ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)	10,7	Bahan imbuh (Flux) asam, merubah oksida menjadi terak
3	Soda abu (Na_2CO_3)	63,3	Flux basa, bahan desulfurisasi
4	Meni timbal (Pb_3O_4)	75,0	Bahan imbuh basa, oksidator, pengikat emas dan perak
5	Serbuk arang kayu (C)	3,0	Pereduksi
6	Air destilasi		Untuk mencuci sebuk emas

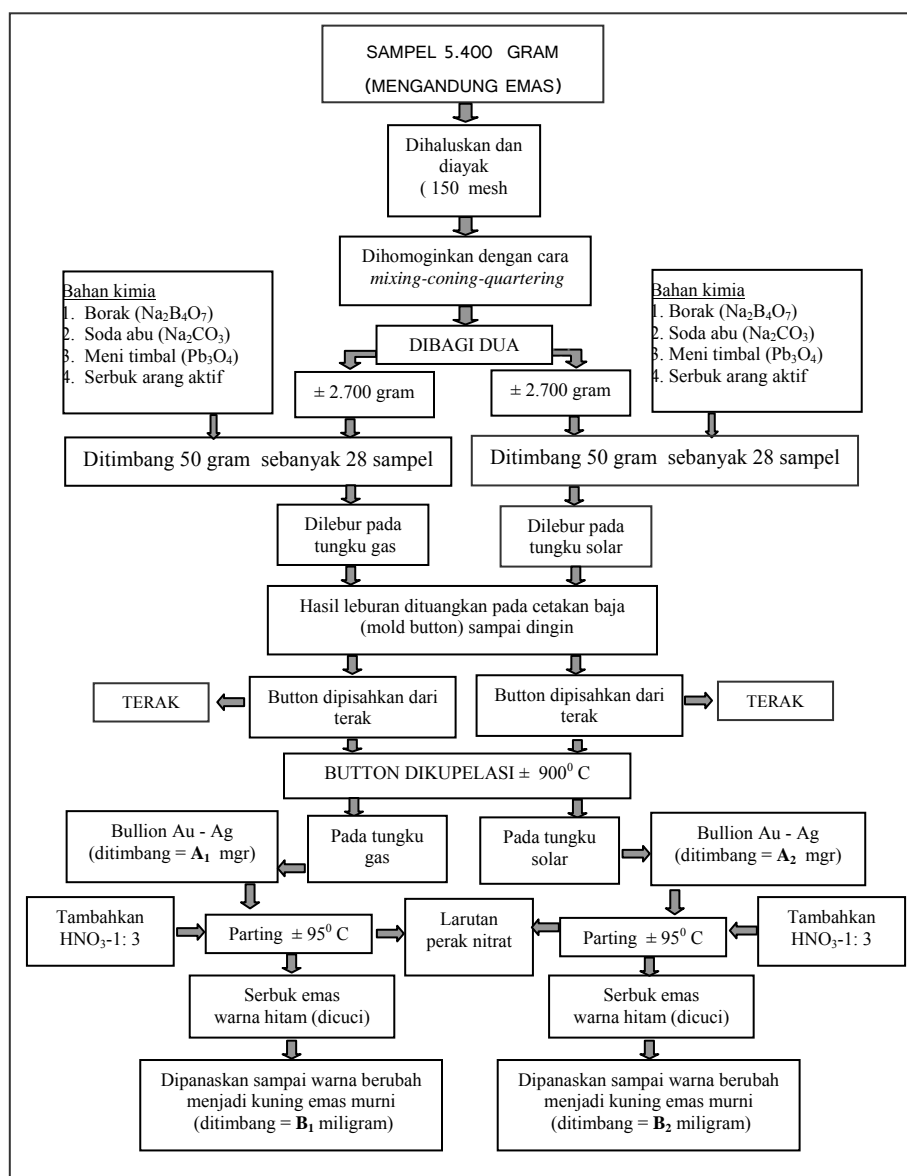
Tabel 2. Alat yang digunakan dalam *fire assay*

No	Nama alat	Kegunaan
1	Tungku gas (suhu maksimum 1.200°C)	Untuk melebur dan kupelasi di lapangan
2	Tungku solar (suhu maksimum 1.200°C)	Untuk melebur di laboratorium
3	Muffle furnace (suhu maksimum 1.200°C)	Tungku solar untuk kupelasi
4	Cawan lempung (<i>crussible clay</i>)	Cawan tempat leburan
5	Cupel (kupel) bone ash	Mangkok tempat kupelasi
6	Tang penjepit (panjang ± 1 meter)	Untuk menjepit cawan lempung dan kupel
7	Vincet	Untuk menjepit butiran bullion (<i>bead</i>)
8	Mold button (cetakan baja)	Untuk mencetak hasil leburan
9	Tabung reaksi 50 ml	Untuk parting
10	Timbangan analitis (ketelitian 0,005 mg)	Untuk menimbang emas yang dihasilkan
11	Asam Nitrat (HNO_3)-pa	Pelarut perak
12	Cawan porselen (<i>enealling cup</i>)	Untuk (tempat) memanaskan serbuk emas

Prosedur analisa seperti disajikan dalam bentuk bagan alir Gambar 1. Sebanyak 5.400 gram sampel yang dihaluskan sampai berukuran 150 mesh dihomogenkan dengan cara *mixing-coning-quartering* selama 20 menit, sampel dibagi dua bagian menggunakan *splitter* sehingga masing-masing menjadi 2.700 gram. Kedua bagian dihomogenkan dengan cara yang sama dan ditimbang masing-masing 50 gram sebanyak 28 sampel. Masing-masing sampel dicampur bahan kimia sesuai dengan komposisi dan berat seperti tercantum dalam tabel 1. Campuran dihomogenkan kembali dengan cara *mixing-coning-quartering* dan dibungkus plastik. Setiap percobaan, sampel dimasukkan kedalam cawan lempung (*crussible clay*) lalu dilebur secara berurutan sesuai dengan nomor urut. Salah satu bagian sebanyak 28 sampel dilakukan analisa dengan peleburan memakai tungku gas, dan bagian yang lain sebanyak 28 sampel dilakukan analisa dengan peleburan memakai tungku solar. Dengan demikian, kedua perlakuan analisa membentuk dua kelompok sampel yang saling berpasangan. Setelah semua mencair (melebur), seluruh isi cawan dituangkan ke dalam cetakan baja sampai dingin, dan *button* dipisahkan dari terak (*slag*). Selain itu dilakukan kupelasi yaitu *button* ditempatkan diatas kupel dan kemudian dilebur pada suhu 900°C . Kupelasi dihentikan ketika sisa *button* diatas kupel tampak mengkilap, kupel harus dikeluarkan dan setelah dingin butiran bullion (*bead*) dibersihkan, dan ditimbang. Untuk mengetahui berat emas dan perak, perak dalam bullion (*bead*) dilarutkan dengan larutan asam nitrat (HNO_3)-1:3 sebanyak 20 ml dalam tabung reaksi kemudian dipanaskan secara tidak langsung pada suhu $\pm 95^{\circ}\text{C}$ sampai perak larut sempurna. Serbuk emas (Au) berwarna hitam

akan tersisa didasar tabung reaksi didinginkan, dicuci (dibilas) dengan air destilasi secara hati-hati kemudian dikeringkan dan dipanaskan sampai berwarna kuning emas (Au) murni lalu ditimbang. Tabel 3 memperlihatkan data hasil penimbangan bullion (A) dan emas (B).

Metoda pengolahan data hasil percobaan dilakukan dengan metoda statistik secara sederhana. Dari data hasil penimbangan berat sampel, berat bullion dan berat emas, maka besaran kadar emas (Au) dan perak (Ag) dihitung dari setiap sampel dan bukan dari berat rata-rata (penggabungan) menggunakan rumus umum berikut:



Gambar 1. Bagan alir analisis emas dan perak secara *fire assay*.

$$\text{Kadar Emas (x)} = (B/50) \times 1000 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Kadar Perak (y)} = ((A-B)/50) \times 1000 \dots\dots\dots (2)$$

dimana 50 adalah berat sampel dalam gram, A adalah berat bullion dalam mg, B adalah berat emas murni dalam mg, A-B adalah berat perak murni dalam mg. Kadar emas (x) dan perak (y) dihitung dalam satuan gram/ton.

$$\% \text{ Simpangan baku relatif (\% RSD)} = (\text{Simpangan baku populasi/rata-rata populasi}) \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

dimana % RSD adalah persentase simpangan baku relatif, MPD adalah perbedaan persentase rata-rata, AMPD adalah harga mutlak perbedaan persentase rata-rata dan s adalah simpangan baku populasi. Perbedaan persentase (%) rata-rata harga mutlak (AMPD) merupakan selisih dari hasil yang dicapai. Nilai perbedaan persentase (%) rata-rata (MPD) dan perbedaan persentase (%) rata-rata harga mutlak (AMPD) dihitung menggunakan rumus (4) dan (5).

$$\text{MPD}_{(Au)} = 1/n \sum [(x_1 - x_2)/(x_1 + x_2)) \cdot 100] \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{AMPD}_{(Au)} = 1/n \sum [(|x_1 - x_2|/(x_1 + x_2)) \cdot 100] \dots\dots\dots (5)$$

dimana simpangan baku keduanya sama dengan % RSD dari simpangan baku $\sum (x_1 - x_2)$ dibagi dengan simpangan baku $\sum (x_1 + x_2)$.

HASIL & PEMBAHASAN

Prosedur analisa untuk menentukan kadar emas dan perak secara *fire assay* baik yang dilakukan peleburan memakai tungku dengan bahan bakar gas maupun dengan bahan bakar solar pada dasarnya sudah baku, tetapi yang belum terpikirkan adalah perbedaan hasil akhir. Secara teoritis, kadar emas yang dihasilkan oleh kedua tungku akan sama karena ditentukan oleh jumlah berat sampel dan komposisi umpan yang relatif sama. Perlu diketahui bahwa tungku yang memakai bahan bakar gas (tungku gas) biasanya digunakan untuk analisa emas di lapangan, sedangkan tungku yang memakai bahan bakar solar (tungku solar) digunakan untuk analisa emas di laboratorium. Meskipun demikian, percobaan ini mencoba memperlakukan prosedur dan berat masing-masing sampel sama yaitu 50 gram, demikian pula jumlah dan komposisi bahan kimia yang digunakan (Tabel 2). Dengan demikian, sebagai indikator yang dipakai adalah selisih kadar emas rata-rata yang dihasilkan dari kedua tungku peleburan.

Semua metoda analisa emas dan perak memiliki perbedaan hasil, dan perbedaan hasil analisa dari metoda *fire assay* sebagai akibat kehilangan pada waktu peleburan dan kupelasi. Gejala ini diasumsikan bahwa akan terjadi fluktuasi temperatur peleburan dan temperatur kupelasi yang tidak dapat dikontrol secara tepat, sehingga melebihi titik lebur emas. Sumber kehilangan emas dalam peleburan akan terjadi bila temperatur tidak mencapai titik lebur emas, dimana emas akan cenderung terperangkap di dalam terak $\pm 2 \%$. Sebaliknya jika temperatur kupelasi melebihi titik lebur emas, maka emas akan terserap oleh kupel $\pm 1,0 \%$ [Eric, 1984]. Apabila data dalam Tabel 4 ditelaah, maka hasil analisa cenderung memiliki permasalahan kehilangan emas yang dicirikan oleh fluktuasi kadar emas dan perak yang tidak merata, kondisi ini mencerminkan temperatur tidak stabil [Thomson, 1973]. Dengan demikian, perlakuan analisa yang diselidiki adalah untuk mengetahui berapa besar

selisih rata-rata kadar emas dan perak yang saling berpasangan. Perbedaan hasil analisa emas dari kedua tungku gas dan tungku solar berkisar antara -0,60 dan + 4,20 gr/tn dengan nilai rata-rata -1,74 gr/tn, sedangkan perbedaan hasil analisa perak pada kisaran antara -9,4 dan +5,0 gr/tn dengan nilai rata-rata sebesar -4,0 gr/ton.

Peleburan memakai tungku gas (Tabel 4 kolom 1) menghasilkan data kadar emas (x_1) bervariasi pada kisaran antara 43,20 gr/t Au dan 70,20 gr/t Au dengan selang toleransi antara 36,23 gr/t dan 79,53 gr/t ($\bar{x}_1 = 57,88$ gr/t, $s = 7,43$, $n = 28$, $\gamma = 0,99$, dan $1 - \alpha = 0,95$). Sementara kadar perak (y_1) bervariasi pada kisaran antara 1,40 gr/t Ag dan 9,40 gr/t Ag dengan selang toleransi antara -1,94 gr/t dan 11,46 gr/t ($\bar{y}_1 = 4,76$ gr/t, $s = 2,3$, $n = 28$, $\gamma = 0,99$, dan $1 - \alpha = 0,95$). Dengan demikian, perbandingan kadar emas rata-rata terhadap perak ($\bar{x}_1 : \bar{y}_1$) sebesar 11,3 : 1.

Penentuan kadar emas yang dilebur dengan menggunakan tungku gas kurang memuaskan, oleh karena itu kemudian dilakukan analisa sampel duplikat dan dipakai tungku solar dalam upaya kalibrasi. Hasil analisa disajikan dalam Tabel 4 kolom 2, yang menunjukkan data kadar emas (x_2) bervariasi pada kisaran antara 46,30 gr/t Au dan 70,20 gr/t Au dengan selang toleransi antara 42,07 gr/t dan 77,16 gr/t ($\bar{x}_2 = 59,62$ gr/t, $s = 6,02$, $n = 28$, $\gamma = 0,99$, dan $1 - \alpha = 0,95$). Sedangkan kadar perak (y_2) bervariasi pada kisaran antara 1,60 gr/t Ag dan 12,80 gr/t dengan selang toleransi antara -1,86 gr/t dan 19,41 gr/t ($\bar{y}_2 = 8,77$ gr/t, $s = 3,65$, $n = 28$, $\gamma = 0,99$, dan $1 - \alpha = 0,95$), dan perbandingan kadar emas rata-rata terhadap perak ($\bar{x}_2 : \bar{y}_2$) sebesar 6,79 : 1.

Sebagai suatu gambaran, apabila perbedaan hasil analisa diakibatkan oleh pemakaian tungku dengan bahan bakar yang berbeda, hal tersebut akan terefleksi dalam perbedaan persentase (%) rata-rata (MPD) dan persentase (%) rata-rata harga mutlak (AMPD). Perbedaan persentase (%) rata-rata (MPD) merupakan selisih rata-rata (%) hasil analisa pasangan pertama yang dilebur pada tungku gas dengan pasangan kedua yang dilebur pada tungku solar. Dari data dalam Tabel 4, perbedaan persentase (%) rata-rata (MPD) dari kedua tungku yang dipakai untuk emas (Au) sebesar -0,05 % dengan simpangan baku sebesar -0,14 %, sedangkan perbedaan persentase (%) rata-rata (MPD) untuk perak (Ag) sebesar 1,08 % dengan simpangan baku - 2,81 %. Sementara itu, nilai perbedaan persentase (%) rata-rata harga mutlak (AMPD) untuk emas sebesar 0,08 % dengan simpangan baku sebesar 0,17 % dan nilai perbedaan persentase (%) rata-rata harga mutlak (AMPD) untuk perak sebesar 1,36 % dengan simpangan baku sebesar 0,25 %.

Perbedaan persentase (%) rata-rata (MPD) dan perbedaan persentase (%) rata-rata harga mutlak (AMPD) menunjukkan rentang dari selisih angka persentase kedua tungku gas dan tungku solar. Mengenai perbedaan kadar emas dan perak yang dihasilkan, tampaknya hasil peleburan menggunakan bahan bakar gas (tungku gas) relatif lebih kecil, dan secara teoritis ekstraksi kurang sempurna dibanding tungku solar (Eric, 1984). Meskipun tidak diketahui secara pasti, berapa besar selisih kadar emas dan perak hasil tungku gas dan tungku solar yang dianggap sebagai patokan, tetapi selisih kadar rata-rata emas yang dicapai kecil sekali yaitu sebesar -1,74 gr/t dan perak -4,0 gr/t sehingga dapat diabaikan. Sementara itu, variansi kadar emas terletak pada kisaran antara -2,81 sampai 0,66 dan untuk perak antara -4,54 sampai 1,07, dimana masing-masing mengandung selisih rata-rata yang memberi kemungkinan sama dengan nol (Walpole, 1986). Analisa emas dengan peleburan memakai tungku solar lebih besar dan perbedaan (MPD)_{Au} sebesar 0,05 % dan (AMPD)_{Au} sebesar 0,08 % atau mendekati nol, sehingga tidak dapat disimpulkan bahwa hasil analisa peleburan memakai tungku solar lebih baik jika dibanding hasil analisa peleburan memakai tungku gas.

Tabel 3. Hasil penimbangan bullion dan emas (Au) murni (miligram).

No	BULLION (Au-Ag)		EMAS (Au)		PERAK (Ag)	
	Tung ku Gas	Tung ku Solar	Tung ku Gas	Tung ku Solar	Tung ku Gas	Tung ku Solar
	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	A ₁ - B ₁	A ₂ - B ₂
	1	2	3	4	5	6
1	2,61	2,82	2,16	2,31	0,20	0,49
2	2,32	3,60	2,25	3,32	0,07	0,28
3	2,57	3,36	2,41	2,78	0,16	0,58
4	3,27	3,32	3,01	2,48	0,26	0,48
5	2,73	3,49	2,57	2,86	0,16	0,63
6	2,84	3,38	2,67	2,90	0,17	0,45
7	3,18	3,58	2,80	2,94	0,38	0,64
8	3,29	3,20	2,84	2,95	0,47	0,25
9	3,38	3,42	2,91	3,01	0,47	0,41
10	3,17	3,66	3,07	3,05	0,11	0,61
11	3,56	3,33	3,12	3,25	0,33	0,08
12	3,41	3,47	3,18	3,32	0,23	0,15
13	3,61	3,58	3,40	3,39	0,21	0,19
14	3,50	3,72	3,40	3,51	0,10	0,21
15	3,67	3,68	3,51	3,50	0,16	0,18
16	3,60	3,56	3,41	3,48	0,19	0,08
17	3,60	3,88	3,40	3,28	0,20	0,60
18	3,46	3,70	3,29	3,08	0,17	0,62
19	3,40	3,61	3,13	3,05	0,27	0,62
20	3,46	3,61	3,09	2,98	0,37	0,63
21	3,48	3,48	3,02	2,95	0,46	0,53
22	3,22	3,45	2,89	2,92	0,33	0,53
23	2,94	3,40	2,81	2,87	0,13	0,53
24	2,98	3,40	2,76	2,85	0,22	0,55
25	2,89	3,34	2,75	2,83	0,14	0,51
26	2,99	3,32	2,66	2,79	0,33	0,53
27	2,66	3,24	2,51	2,74	0,11	0,50
28	2,76	3,11	2,50	2,68	0,26	0,43

Keterangan: A₁ =bullion hasil tungku gas, A₂ = bullion hasil tungku solar, B₁ = emas murni hasil tungku gas, B₂ = emas murni hasil tungku solar, A₁-B₁ = perak hasil tungku gas, A₂-B₂= perak hasil tungku solar.

Tabel 4. Hasil perhitungan kadar emas (x₁, x₂) dan perak (y₁, y₂).

No	HASIL (gr/ton)			
	Tung ku Gas	Tung ku Solar	Tung ku Gas	Tung ku Solar
	x ₁	x ₂	y ₁	y ₂
	1	2	3	4
1	43,20	46,30	4,00	9,80
2	45,00	46,80	1,40	5,60
3	48,20	55,60	3,20	11,60
4	50,20	56,80	5,20	9,60
5	51,40	57,30	3,20	12,60
6	53,40	58,00	3,40	9,00
7	56,00	58,80	7,60	12,80
8	56,40	59,00	9,40	5,00
9	58,20	60,30	9,40	8,20
10	61,40	61,00	2,20	12,20
11	62,40	65,00	6,60	1,60
12	63,60	66,40	4,30	3,00
13	68,00	67,80	4,20	3,80
14	68,00	70,20	2,00	4,20
15	70,20	70,00	3,20	3,60
16	68,20	69,60	3,80	1,60
17	68,00	65,66	4,00	12,00
18	65,80	61,60	3,40	12,40
19	62,60	61,00	5,40	12,40
20	61,80	59,60	7,40	12,60
21	60,40	59,00	9,20	10,60
22	57,80	58,40	6,60	10,60
23	56,20	57,40	2,60	10,60
24	55,20	57,00	4,90	11,00
25	55,00	56,60	2,80	10,20
26	53,20	55,80	6,60	10,60
27	51,00	54,80	2,20	10,00
28	50,00	53,60	5,20	8,60

Keterangan: x₁ dan x₂ = kadar emas, y₁ dan y₂ = kadar perak.

KESIMPULAN

1. Kadar emas rata-rata (\bar{X}_1) memakai tungku gas sebesar 57,88 gr/ton, sedangkan untuk analisa memakai tungku solar dengan kadar emas rata-rata (\bar{X}_2) sebesar 59,62 gr/ton.
2. Kadar perak rata-rata (\bar{Y}_1) sebesar 4,76 gr/ton untuk analisa memakai tungku gas dan tungku solar (\bar{Y}_2) sebesar 8,77 gr/ton.
3. Selisih rata-rata kadar emas sebesar 1,74 gr/ton dan perak sebesar 4,20 gr/ton. Perbedaan hasil analisa tersebut mungkin disebabkan oleh nilai kalor yang lebih tinggi untuk tungku solar yang menghasilkan ekstraksi emas dan perak yang lebih sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Davidowski, L., Werbicki, J. J. 1983. Observation on the determination of gold by atomic absorption spectroscopy. Atomic Spectroscopy 4(3):104 – 107.
- Eric, D. B. 1984. Some coment on the precision and accuracy of gold analysis in exploration. Proceeding of Australian Institute of Mining and Metallurgy, 289.
- Haffty, J., Riley, L. B., Goss, W. D. 1977. A Manual on fire assaying and determination of the noble metals in geological materials. Geological Survey Bulletin: 1445.
- Haque, K. E. 1992. The role of oxygen in cyanide leaching of gold ore, Cim. Bulletin 185 (963): 31 - 37.
- Smith. 1947. The sampling and assay for the precious metals, 2nd ed, Ghas, Griffin, p.
- Thomson, M and Howarth, R. J, 1973, The rapid estimation and control of precision by duplicate determination. The Analyst 98(116): 1973.
- Walpole, R. E dan Meyers, R. H, 1986. Ilmu peluang dan statistika untuk insinyur dan ilmuwan. Terbitan ke-2, Penerjemah: R. K. Sembiring, Penerbit ITB, Bandung.

Naskah masuk: 2 November 2006

Naskah diterima: 23 April 2007